心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 9, 1576–1589
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01576

·元分析(Meta-Analysis)·

数学能力的改善：针对工作记忆训练的元分析*

郭丽月　严　超　邓赐平

(华东师范大学心理与认知科学学院，上海 200062)

摘　要　工作记忆训练指针对工作记忆各成分进行的训练，以实现个体记忆与其他认知能力的提升。该领域一直都是研究者关注的热点，越来越多的研究正在试图利用工作记忆训练改善个体的数学能力。然而回顾过往的研究，发现研究所关注的数学能力类型、针对的被试人群、使用的方法、结论等存在较大差异，目前尚没有系统性综述专门探讨工作记忆训练对数学能力的影响。因此，本文首先回顾和数学能力有关的工作记忆训练方式，然后结合元分析，从数感、运算能力和数学推理能力三个方面，分别回顾归纳工作记忆训练对数学能力的提升作用。具体而言，尽管研究数量相对有限，工作记忆训练可能有效改善数感，其效应量为中等(Cohen's $d = 0.51$)；而可能无法有效改善运算和数学推理能力，它们的效应量小(运算：Cohen's $d = 0.04$；数学推理：Cohen's $d = -0.06$)。此外，训练目标类型与训练效果有着密切的联系。

关键词　工作记忆训练；数学能力；数感；运算；数学推理

分类号　B849:G44

1　引言

工作记忆训练指对存储系统(包括语音回路(phonological loop)、视空模板(visuospatial sketchpad))或中央执行系统(包括转换(shifting process)、刷新(updating)和抑制(inhibition)成分)的训练，通过提升个体工作记忆容量或工作记忆资源使用效率，从而产生迁移效应(von Bastian, Langer, Jäncke, & Oberauer, 2013；黎翠红，何旭，郭春彦，2014；刘春雷，周仁来，2012)。常见的训练模式主要有两大类，一类是针对单一系统(如语音回路)进行训练，另一类针对多种系统(如语音回路与视空模板)进行同时训练。

工作记忆在数学能力的发展中发挥重要作用，研究显示不论是成人还是儿童，正常发展还是发展障碍儿童，工作记忆所有子成分的加工过程都与数学表现的优劣(比如运算)存在密切联系(Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen, & van Luit, 2013; Raghubar, Barnes, & Hecht, 2010)。鉴于此，研究者开始逐步关注工作记忆训练对数学能力的提升或者改善效果。尽管，过去有综述和元分析探讨了工作记忆训练对数学能力的提升效果(Peijnenborgh, Hurks, Aldenkamp, Vles, & Hendriksen, 2016; Schwaighofer, Fischer, & Bühner, 2015；刘春雷，周仁来，2012)，但其或者只从数学能力的单个维度探讨，或者一概而论。事实上数学能力是一个多维概念，涉及数感、运算能力和数学推理能力等多个层面(Geary, 2006)。过去的研究结果存在很大的异质性，具体来说，不同的研究关注数学能力的不同层面(如数感、运算和数学推理)，纳入不同特征的被试群体(如不同年龄、心理发展状况)、使用不同的干预手段，都可能会导致不同的研究结论(Alloway, 2012; Ang, Lee, Cheam, Poon, & Koh, 2015; Bergman-Nutley & Klingberg, 2014; Dahlin, 2013; Dunning, Holmes, & Gathercole, 2013; Harrison et al., 2013; Kroesbergen, Van't Noordende, & Kolkman, 2012, 2014; Kyttälä, Kanerva, & Kroesbergen, 2015;

收稿日期：2017-07-10

* 国家自然科学基金面上项目(项目编号 71373081)；国家自然科学基金青年项目(项目编号 31500894)。

通信作者：严超, E-mail: cyan@psy.ecnu.edu.cn;
邓赐平, E-mail: cpdeng@psy.ecnu.edu.cn

Nelwan & Kroesbergen, 2016; Redick et al., 2013; Robert et al., 2016; Söderqvist & Nutley, 2015; Witt, 2011)。因此, 从单一维度或者笼统地探讨工作记忆训练对于数学能力的作用可能会阻碍我们对于工作记忆训练迁移效果的理解。然而, 目前尚未有综述专门针对数学能力这些不同层面的迁移效应做过系统地概括和探讨。本文试图从数感、运算和数学推理这三个层面着手, 结合元分析的研究方法, 深入探讨工作记忆训练对数学能力的提升和改善效果, 并分析影响训练效果的可能因素, 在前人工作记忆训练元分析的基础上(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Peijnenborgh et al., 2016; Schwaighofer et al., 2015), 我们将聚焦考察年龄、被试类型、训练目标、训练任务、控制组类型、训练强度、训练频率、每次训练时长和训练持续时间对训练效果的影响。

2　工作记忆的训练任务

在介绍工作记忆训练对不同数学能力的提升效果之前, 我们首先回顾与数学能力有关的工作记忆训练方式, 以更好理解工作记忆的训练类型及训练目标, 本文主要从工作记忆单一系统以及多系统的这两个训练模式进行总结。

2.1　单一成分训练任务

2.1.1　语音回路

分类工作记忆广度任务(Categorization Working Memory Span task, CWMS)

分类工作记忆广度任务适用于 9~86 岁的被试群体(Borella, Carretti, & De Beni, 2008; Giofrè, Mammarella, & Cornoldi, 2013), 其训练周期一般为 3 个系列, 每个系列持续时间大约 60 分钟。在每个系列中, 被试将会完成一项任务, 这项任务包含有一系列以语音形式呈现的词语, 被试被要求记住这些词语, 待词语呈现完毕后将任务要求回忆的词语写出来(如图 1 所示)。三项任务的广度都为 2~5 个单元, 即呈现的词语在 2~5 个之间变化 (Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010)。

2.1.2　视空模板

(1) 找不同(Odd One Out, OOO)

找不同任务, 适用的年龄范围为 4~22 岁(Alloway, Gathercole, Kirkwood, & Elliott, 2008)。任务会呈现三个图形, 其中一个形状与另外两个不同(如图 2-A), 被试需要辨认出不同的图形并记住它所在的位置, 当每次所有刺激呈现完毕之后, 会呈现空白方格(如图 2-B), 要求被试在上面指出那个不同图形所对应的位置。任务难度通过增减试次中刺激的呈现数量来进行调整, 同时, 被试所需记忆的图形数量也随之改变。这项任务的主要指标是广度, 即被试最多能够正确回忆多少个不同刺激所在位置。

在 van der Molen, van Luit, van der Molen, Klugkist 和 Jongmans (2010) 的训练中, 被试每周接受 3 次训练, 每次 6 分钟, 持续 5 周, 训练难度从 1 到 7 单元逐步递增, 并随着被试的表现而改变。

(2) Cogmed JM

Cogmed 是应用最为广泛的工作记忆训练程序(www.cogmed.com), Cogmed 工作记忆训练包含 3 个版本, 分别为 Cogmed JM 、Cogmed RM 和 Cogmed QM, 其中 Cogmed JM(如图 3 所示)专门针对视空模板进行训练。在 Cogmed JM 中, 每天训练 15~20 分钟, 每周训练 5 天, 持续训练 5 周, 适用人群为 4~6 岁的学前儿童。训练包括 7

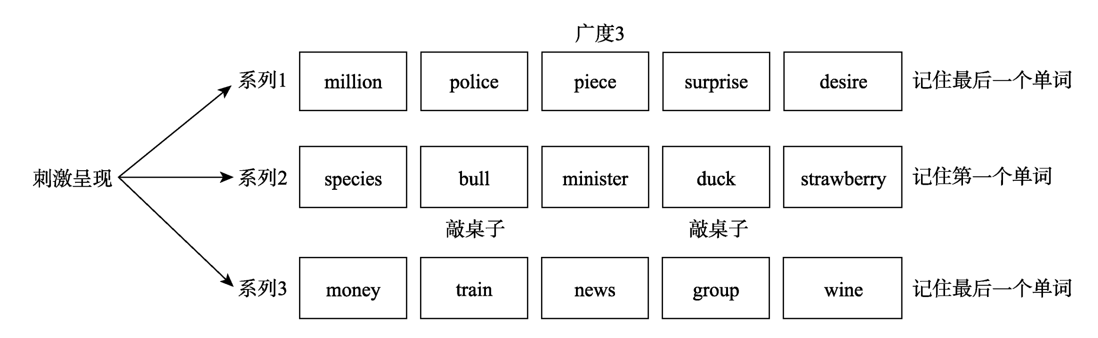


图 1　广度为 3 的 CWMS 任务范例(Borella et al., 2010; Carretti, Cornoldi, De Beni, & Palladino, 2004)。词语以每秒 1 个呈现, 听到动物词语时轻击桌面, 并记住每个系列中的某个词汇, 词语系列之间的时间间隔为 2 秒。所有词语系列呈现完毕后, 回忆所有要求记住的词汇。

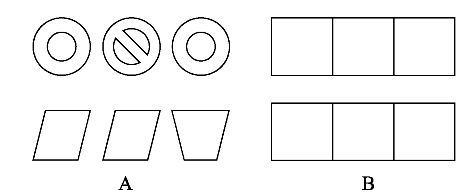


图 2 广度为 2 的找不同任务范例 (Henry, 2001)。A)刺激; B)反应卡片。先呈现反应卡片, 之后呈现刺激, 要求指出每行中不同的图形并记住其位置, 之后在反应卡片上指出不同图形对应位置。

个视空间工作记忆任务, 具体为水塘任务(Pool)、动物任务(Animals)、碰碰车任务(Bumper Cars)、过山车任务(Rollercoaster)、摩天轮任务(Ferris Wheel)、旅馆任务(Hotel)、旋转任务(Twister)。以动物任务为例, 任务以转盘为背景, 在转盘上有 8 种动物, 这些动物以随机的顺序变亮, 要求受训儿童按呈现顺序依次点击。

2.1.3 刷新

(1) N-back 任务

N-back 任务根据刺激呈现的形式, 可以分为视觉 N-back 任务和听觉 N-back 任务。一些研究进行一种形式的 N-back 任务训练, 如视觉空间位置的 N-back 训练(Jaeggi, Buschkuehl, Jonides, & Shah, 2011), 在训练中, 呈现 6 个位置, 一只青蛙随机在这 6 个位置出现, 要求判断每一次青蛙出现的位置与此前第 n 次出现时所在的位置是否一样(见图 4)。也有研究使用双 N-back 任务, 如同时呈现视觉的位置和听觉的字母进行训练(Jaeggi, Buschkuehl, Jonides, & Perrig, 2008), 视觉的任务为在 8 个位置呈现方块, 要求判断每一次出现方块的位置是否与此前呈现过的第 n 个方块所在的位置一致, 与此同时, 听觉上呈现字母语音, 要求判断当前所听到的字母与之前听到的第 n 个字母是否一样(见图 5)。

在研究中, N-back 的指标主要包括被试所能达到的水平 n, 正确率与反应时。在不同研究中, 训练强度有所不同, 一般每次的训练时间范围大概在 10~45 分钟, 训练次数为 8~20 次, 在训练中, 任务难度与被试的表现相匹配, 训练结束给予一定的奖励。

(2) 活动记忆任务(Running Memory, RM)

活动记忆任务最早由 Pollack, Johnson 和 Knaff (1959)设计, 任务以视觉或听觉方式呈现一系列未知长度的项目串后, 要求按顺序回忆一个指定长度的项目串。比如在屏幕中呈现字母串 Q、A、I、N、D、T, 之后要求回忆最后三个字母, 即 NDT。任务的刺激内容包括字母、数字、位置或图片, 可通过改变项目串的长度和指定回忆的长度, 或者刺激呈现的时间长短来改变任务难度。活动记忆任务在研究中用于 6~75 岁的被试群体(Ang et al., 2015; Jahanshahi, Saleem, Ho, Fuller, & Dirnberger, 2008)。

活动记忆任务的指标同样为广度, 该任务训练刷新能力, 在赵鑫等人(赵鑫, 王一雪, 刘丹玮, 周仁来, 2011)的研究中, 每天训练 15~20 分钟, 每



图 3 Cogmed JM (Pearson Inc., www.cogmed.com)

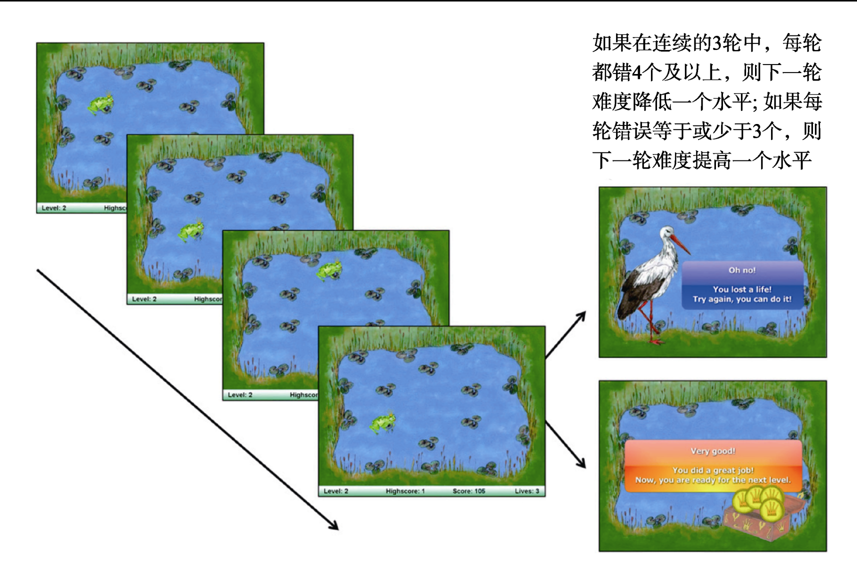


图 4　空间 n-back (Jaeggi et al., 2011)。青蛙在 6 个位置随机出现, 呈现时间 500 ms, 试次之间的时间间隔 2500 ms。每个回合有 15+n 个试次, 每个试次中要求判断每一次青蛙出现的位置与此前第 n 次出现时所在的位置是否一样。

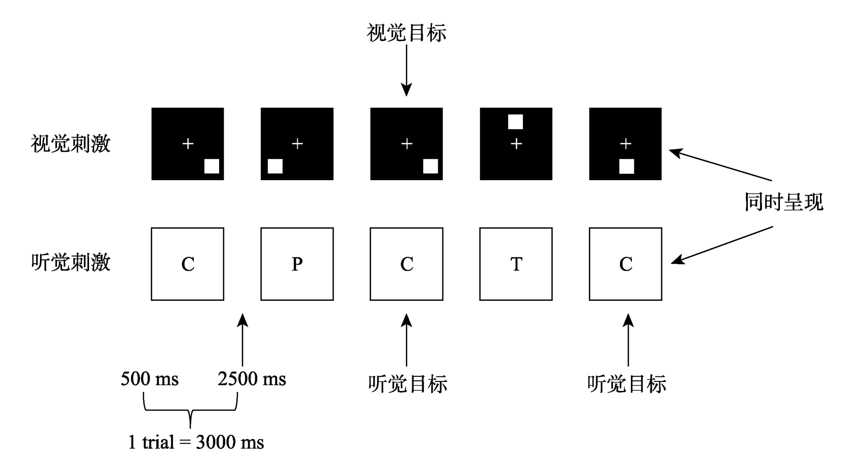


图 5　双 N-back 范例(Jaeggi et al., 2008)。同时呈现视觉的位置和听觉的字母任务, 视觉的任务为在 8 个位置呈现方块, 要求判断每一次出现方块的位置是否与此前呈现过的第 n 个方块所在的位置一致, 一致时按“A”键, 与此同时, 听觉上呈现字母语音, 要求判断当前所听到的字母与之前听到的第 n 个字母是否一样, 一样时按“L”键。

周 3~4 次, 共完成 15 次的训练。

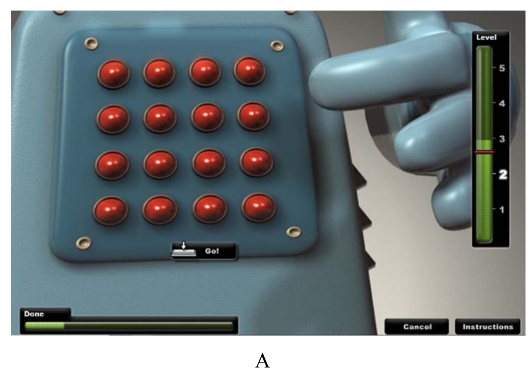
2.2　多成分训练任务

2.2.1　Cogmed 工作记忆训练(Cogmed Working Memory Training, CWMT)

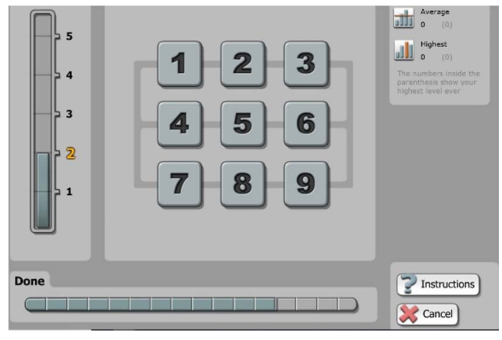
Cogmed 工作记忆训练的另外两个版本为 Cogmed RM 和 Cogmed QM (见表 1), 其中 Cogmed RM 版本每天训练 30~45 分钟, 针对 7~18 岁的学龄儿童和青少年设计, 包括 13 个言语工作记忆和视空间工作记忆任务, 这些任务分别为资料室任务(Data room)、编码者任务(Decoder)、分类者任务(Sorter)、3D 立方体任务(3D cube)、行星游戏(Asteroids)、旋转数字连线任务(Rotating data link)、旋转点阵任务(Rotating dots)、太空漫步游戏(Space Whack)、输入模式任务(Input module)、视觉数字连线任务(Visual data link)、限制输入模式任务(Input module with lid)、校正者任务(Corrector)、平衡杆游戏(Stabilizer)。以视觉数字连线任务为例(见图 6-A), 表盘上的红灯以随机顺序亮起, 呈现完之后要求按顺序依次点击这些变亮的灯。Cogmed QM 每天训练 30~45 分钟, 适用

表 1 Cogmed 三个版本的比较

版本	适用对象	每天训练时间	任务	背景特点
Cogmed JM	4~6 岁	15~20 分钟	7 个视空间工作记忆任务	颜色明亮，主题公园
Cogmed RM	7~18 岁	30~45 分钟	13 个言语工作记忆和视空间工作记忆任务	机器人，类似电子游戏
Cogmed QM	成人	30~45 分钟	13 个言语工作记忆和视空间工作记忆任务	颜色较单调，视觉吸引力较小，防止干扰



A



B

图 6 Cogmed 任务界面(Pearson Inc., www.cogmed.com)。A)视觉数字连线，表盘上的红灯以随机的顺序变亮，要求按顺序依次点击这些变亮的灯；B)隐藏任务，要求在听到一系列的数字之后在表盘上按顺序点击这些数字。

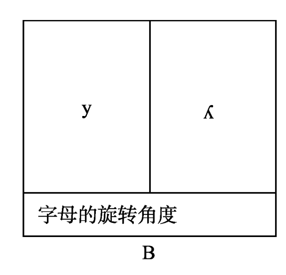
于成人，训练任务包括扭动任务(Twist)、3D 网格任务(3D Grid)、校正任务(Correct)、隐藏任务(Hidden)、立方体任务(Cube)、分类任务(Sort)、弹出任务(Pop-Up)、网格任务(Grid)、数字任务(Numbers)、字母任务(Letters)、旋转任务(Rotating)、混沌任务(Chaos)、组装任务(Assembly)等 13 个任务。例如隐藏任务(见图 6-B)，受训者在听到一系列的数字之后，需要按顺序在表盘上点击这些数字。以上两个版本的训练强度均是每周训练 5 天，持续 5 周。

2.2.2 丛林记忆(Jungle Memory, JM)

丛林记忆(http://junglememory.com)为在线干预任务(T. Alloway, 2012; T. P. Alloway, Bibile, & Lau, 2013)，训练语音回路和视空模板，适用于 7~16 岁的儿童，包括三个游戏，游戏一针对视空模板，如图 7-A 所示，字母在矩阵中呈现，要求记住目标刺激的位置；游戏二针对视空模板，如图 7-B 所示，呈现两个字母，其中一个字母旋转，被试需要记住旋转字母配对所旋转的角度，当一系列的字母呈现结束后，需要按顺序将这些字母的旋转角度回忆出来；游戏三针对语音回路，要求解决难度逐渐增大的数学运算问题，如图 7-C 所示，左侧呈现运算问题，右侧呈现数字键，受训者在此输入正确答案，等题目呈现完毕，

Q	M	D
N		
	F	D
		K
记住 D		

A



B

3 +6 =	7	8	9
	4	5	6
	1	2	3
	0	<	删除
	在此表盘输入答案		

C

图 7 丛林记忆任务(Memosyne Ltd., http://junglememory.com)。A) 矩阵任务，在矩阵中呈现字母，要求记住目标刺激的位置；B)字母旋转任务，呈现两个字母，其中一个字母被旋转，要求记住其旋转角度，当一系列的字母呈现结束后，按顺序回忆这些字母的旋转角度；C)计算广度任务，要求解决难度逐渐增大的数学运算问题。

表 2　工作记忆的训练任务

任务类型	任务	工作记忆成分	任务来源	评估指标	适用人群
单一成分训练任务	CWMS	语音回路	Borella, Carretti, Cornoldi, & De Beni, 2007	广度(个数)	9~86 岁
	OOO	视空模板	Hitch & McAuley, 1991	广度(个数)	4~22 岁
	Cogmed JM	视空模板	Klingberg et al., 2005	正确率、水平	4~6 岁
	N-back	刷新	Krichner, 1958	水平 n、正确率、反应时	4~77 岁
	RM	刷新	Pollack et al., 1959	广度(个数)	6~75 岁
多成分训练任务	Cogmed RM 和 Cogmed QM	语音回路和视空模板	Klingberg et al., 2005	正确率、水平	7 岁及以上
	JM	语音回路和视空模板	Alloway & Alloway, 2008	正确率、水平	7~16 岁

注：CWMS=Categorization Working Memory Span; OOO=Odd One Out; RM=Running Memory; JM=Jungle Memory

按顺序回忆这些答案。该程序的难度有 30 个水平，且训练难度随受训者的表现而改变。

与数学能力有关的工作记忆训练中常用多任务开展干预，其中较为常见的训练任务为 CWMT 和 JM，并且 CWMT 最被广泛应用，而另外几个任务更多和其它工作记忆任务结合进行训练。通过对以上任务(概括见表 2)的简单介绍，可以更好理解训练任务类型和训练目标，从而认识数学能力提高的机制。

3　工作记忆训练对数学能力的提升作用

3.1　数学能力的多维结构

数学能力是一个多维的概念，涉及包括数感、运算能力和数学推理能力等多个层面(Geary, 2006)。数感是心理表征和操作数字与数量的能力(Friso-van den Bos, Kroesbergen, & van Luit, 2014; Dehaene, 2001)，主要包括数数、数量区分、数轴估计等能力(Jordan, Kaplan, Ola´h, & Locuniak, 2006; Kroesbergen et al., 2012)。运算包括执行计算所需的事实和过程(Brainerd, 1983)。数学推理指对数量关系进行分析以解决问题的能力(Nunes, Bryant, Barros, & Sylva, 2012)。本综述将首先针对以上三种数学能力的工作记忆训练研究进行元分析，之后再结合元分析结果分别详细介绍三种数学能力的工作记忆训练研究，以了解工作记忆训练对它们的作用机制。

3.2　工作记忆训练对数学能力作用的元分析

3.2.1　研究方法

(1) 文献检索与纳入

在数据库检索平台(PubMed, PsycINFO)对 2000~2016 年发表的文章进行检索，检索关键词 working memory training 和 math*、arithmetic*、calculation*、number sense*、reason*的组合。另外，为了避免遗漏文献，对当前几篇综述进行文献回溯检索(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Peijnenborgh et al., 2016; Schwaighofer et al., 2015; Titz & Karbach, 2014)。具体检索流程见图 8。文献纳入和排除标准为：干预类型为工作记忆训练；训练效果中包含对数感、运算或数学推理能力的测量，且在这些测试中可以抽取以上三种数学能力的相关数据以计算效应量；文献语言为英文；仅纳入已发表的文章。最终有 23 篇文献纳入元分析，具体包括：数感的文献 4 篇，运算能力的文献 11 篇，数学推理能力的文献 10 篇，其中 2 篇文献同时测量运算能力和数学推理能力。

(2) 调节变量的编码

表 3 显示调节变量的具体编码。调节变量有助于解释影响训练效果的因素，参照已有研究的编码方式(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Schwaighofer et al., 2015)，本文将各类调节变量进行如下编码。

(3) 效应量计算

本研究采用 Comprehensive Meta-Analysis (Borenstein, Hedges, Higgins, & Rothstein, 2005)进行元分析。采用 Cohen's *d* 作为效应量指标，其中 0.8 为大效应量，0.5 为中等效应量，0.2 为小效应量。元分析采用随机效应模型(random-effects model)。

3.2.2　工作记忆训练对数感的效果

工作记忆的各个成分在数感任务中均发挥一定作用，其中语音回路对于言语理解和获得产生

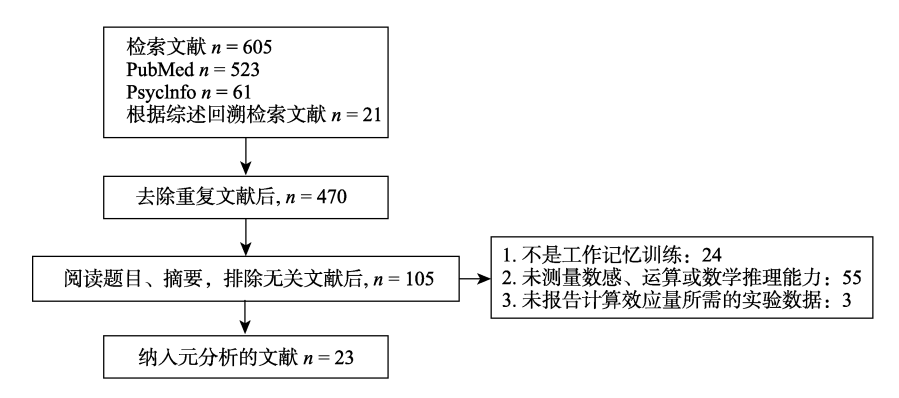


图 8 文献检索流程图

表 3 调节变量的编码

调节变量	描述	编码
年龄段	样本年龄低于 10 岁, 11~18 岁, 或高于 18 岁	年幼儿童、 儿童、成人
被试类型	正常群体或异常群体(如数学障碍等)	正常、异常
训练目标类型	针对工作记忆的单个成分或多个成分	单一目标、多目标
训练任务类型	单个任务或多个任务	单一任务、 多任务
控制组类型	受训或未受训	受训、未受训
训练强度(分钟)	总体训练时间	连续变量
训练频率(次/周)	每周训练的次数	连续变量
每次训练时间(分钟)	每次训练的时长	连续变量
训练持续时间(周)	持续训练的周数	连续变量

作用，使儿童理解数感任务中对数字的口头指导(Friso-van den Bos et al., 2014)。为正确执行数感任务，数字表征需要与对应数量相联系，这种数量表征的空间映射与视空模板相关(Bachot, Gevers, Fias, & Roeyers, 2005; Herrera, Macizo, & Semenza, 2008; Kroesbergen et al., 2014)；并且特定策略的使用也需要视空模板的参与，如手指数数的策略(Kyttälä, Aunio, Lehto, Van Luit, & Hautamäki, 2003)。中央执行系统在数感任务的提取和存储过程发挥作用，以数字比较为例，对于两个不同的数字，需要使其与对应的数量匹配，为更准确地执行任务，这些信息需要被储存起来，中央执行系统的功能为帮助从长时记忆中提取这些信息，执行任务时，帮助整合与更新信息(Kroesbergen et al., 2014)。

由于工作记忆与数感之间存在的紧密联系，因此工作记忆训练对数感能力的作用也受到研究者的关注。一些研究发现，当进行工作记忆训练时，不论是正常儿童还是数感能力较低的儿童，他们的数数、数量比较、数轴任务等成绩都得到了提高(Kroesbergen et al., 2012, 2014; Passolunghi & Costa, 2016)。但是也有研究者对正常儿童进行数数和工作记忆结合进行训练，结果却显示进行这样训练的被试在数数任务上并没有得到提高(Kyttälä et al., 2015)。具体信息参考电子版附表 1。

尽管如此，研究更为一致的发现是工作记忆训练对数感的改善可能是有效的，并且在我们元分析的发现也验证了这一点，尽管研究数量相对有限，我们发现数感的效应量为中等(Cohen's d = 0.51)，即工作记忆训练可能有效改善数感能力(如表 4 所示)。同时，我们也考察训练强度等变量对数感能力改善效果的影响，然而结果显示这些因素均无法预测效应量的改变(如表 5 所示)，即这些因素对训练效果的影响较小，但由于研究数量相对有限，这一结论需要更多研究验证。

3.2.3 工作记忆训练对运算能力的效果

已有研究表明，工作记忆参与运算执行的过程中，包括：工作记忆在运算的表征中发挥作用

表 4　工作记忆训练对数学能力的作用

数学能力	k	Cohen's d	I^2 (%)	组间比较(Q 检验)
数感	4	0.51^{**}	18.12	
运算	11	0.04	48.78	0.021
数学推理	10	−0.06	24.35	

注：k 表示纳入研究个数。$^{**}p < 0.01$.

表 5　连续的调节变量对数感能力作用的影响

变量	B	SE	95%CI	Z	p
训练强度	0.002	0.001	−0.001, 0.004	1.40	0.162
每次训练时间	0.018	0.014	−0.010, 0.046	1.28	0.200
训练持续时间(周)	0.601	0.414	−0.212, 1.413	1.45	0.147

(Demir, Prado, & Booth, 2014; Rotzer et al., 2009), 比如对于水平呈现的题目人们倾向于使用语音回路进行言语表征，垂直呈现的题目则使用视空模板进行视觉表征(Caviola, Mammarella, Cornoldi, & Lucangeli, 2012)；影响运算题目信息、中间结果(如 29+34，个位数上 9+4=13，需要将进位的中间结果保持，并在十位数的运算中提取这个中间结果)及其它暂时信息的存储 (张明, 陈骐, 2006)；影响策略的选择与切换(Hubber, Gilmore, & Cragg, 2014; Wu et al., 2008; 陈英和, 王明怡, 2006; 王明怡, 陈英和, 2006)；抑制无关运算的进行与无关信息的干扰(Cragg & Gilmore, 2014; 陈英和, 耿柳娜, 2004)等等。

鉴于工作记忆在运算过程的重要作用，因此很多研究者利用工作记忆设计针对运算能力的训练。不少研究发现了工作记忆训练能够提高运算能力。例如，对存在轻微智障的儿童进行视空模板任务的训练，结果发现他们在 10 周之后运算能力提高了(van der Molen et al., 2010)。此外，对注意缺陷和数学困难的儿童(Nelwan & Kroesbergen, 2016)、患有工作记忆缺陷的儿童(Bergman-Nutley & Klingberg, 2014)或正常儿童(Söderqvist & Nutley, 2015)进行语音回路和视空模板的训练，训练均提高了他们的运算表现。当在正常儿童中同时针对工作记忆三个成分进行训练时，结果发现他们在加法任务中的错误率更低(Witt, 2011)。在这些研究中，不管是对工作记忆的单一成分，还是同时对多个成分进行训练，都发现了训练对于运算能力的积极作用。

但是，也有很多研究并未验证这个训练的积极效应。有研究对成人进行语音回路或刷新能力的训练，在正常、注意缺陷多动障碍(Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD)或需要接受特殊教育的儿童中进行 CWMT 训练，均未能提高他们的运算能力(Dahlin, 2013; Fälth, Jaensson, & Johansson, 2015; Minear et al., 2016; Partanen, Jansson, Lisspers, & Sundin, 2015)。对工作记忆和数学困难的儿童用 CWMT 与刷新任务进行训练，结果发现这两种训练均无法提升障碍儿童的运算能力(Ang et al., 2015; Roberts et al., 2016)。有研究甚至对工作记忆的三个系统都进行训练，但仍然未获有效提升(Kuhn & Holling, 2014)。具体信息参考电子版附表 2。类似的，我们元分析的结果也显示工作记忆训练无法迁移到运算能力，其改善的效应量小，Cohen's $d = 0.04$，这与过去的元分析的发现是一致的(Melby-Lervåg, Redick, & Hulme, 2016; Peijnenborgh et al., 2016)。

由于分类调节变量样本分布较为不均，如表 6 所示，所以本部分仅探究连续的调节变量的作用(见表 7)，结果发现训练频率、训练强度、每次训练持续时间和训练持续周数对训练效果没有影响，已有研究也证实了这些因素对于迁移效果没有作用，研究者解释可能是由于样本数量太少，数据统计力低(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Schwaighofer et al., 2015)。

另外，训练方式的差异可能也会影响训练效果，比如 Kuhn 和 Holling (2014)与 Witt (2011)的研究，前一项研究采用的是适应性训练，每天的训练内容一样，但是任务难度会随被试表现而改变，训练方式属于核心训练(core training)，即训练目标是工作记忆的内在机制，任务中需要运用工作记忆资源，后一项研究中，学生每周训练的任务不同，并且学习内容中涉及完成任务的策略，不仅包括核心训练，还包括策略训练(strategy training)，策略训练指授予被试有效的编码、保持和提取方法(Morrison & Chein, 2011)，因而后一项研究的训练方式产生的效果更大。但由于在本研究中，采用后一种训练的研究很少，因此无法对训练方式进行编码，分析其作用，未来还需要更多研究对此进行探讨。

3.2.4　工作记忆训练对数学推理能力的效果

大量研究已经探讨工作记忆对一般推理能力

表 6　分类调节变量对运算能力作用的影响

变量	k	Cohen's d	I^2(%)	组间比较 (Q 检验)
年龄段				
年幼儿童	6	−0.12	58.52	0.303
儿童	4	0.13	0	
成人	1	0.36	0	
被试类型				
正常	4	0.15	74.79	0.689
异常	7	−0.01	10.16	
训练目标类型				
单一目标	2	0.26	0	0.161
多目标	9	−0.02	51.95	
训练任务类型				
单一任务	2	0.26	0	0.161
多任务	9	−0.02	51.95	
控制组类型				
受训	3	0.19	0	0.260
未受训	8	−0.02	57.96	

注：k 表示纳入研究个数。

表 7　连续的调节变量对运算能力作用的影响

变量	B	SE	95%CI	Z	p
训练强度	< 0.001	< 0.001	−0.001, 0.001	0.11	0.914
训练频率	0.124	0.092	−0.006, 0.304	1.35	0.177
每次训练时间	−0.001	0.001	−0.018, 0.016	−0.13	0.897
训练持续时间(周)	−0.049	0.084	−0.214, 0.117	−0.58	0.565

的影响，通过影响推理过程，个体将题目信息维持在工作记忆中，随后利用这些信息确定各单元图形的关系，做出选择(张清芳，朱滢，2000)。研究发现工作记忆的不同成分在不同类型的推理任务中发挥作用各异，比如视空模板可预测图形推理能力的改善 (Stevenson, Heiser, & Resing, 2013)。通过训练，增大工作记忆容量，或者提高使用策略与知识的效率，便能够提高推理能力。另外，工作记忆与流体智力有重叠的脑区，包括侧前额皮层和顶叶皮层(Gray, Chabris, & Braver, 2003; Kane & Engle, 2002)，对这些重合的脑区进行训练，也能使推理能力得到提升。由于数学推理能力在一般推理能力、数能力(如运算)等能力的基础上发展而来(Geary, 2006)，因此，工作记忆训练可能也能够提高数学推理能力。

然而，现有的较少研究表明工作记忆训练能够提高数学推理能力。用听力广度任务对正常儿童进行训练，8 次之后，他们的数学推理能力提高了，并且效果保持到 3 个月后(Cornoldi, Carretti, Drusi, & Tencati, 2015)。在异常儿童中，如学习困难儿童或低工作记忆能力的儿童，用 JM 或 CWMT 任务进行语音回路和视空模板的训练，也得到了积极的结果(Alloway, 2012; Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009)。但是，更多的研究发现这样的训练对数学推理能力没有提升作用，无论是正常(Harrison et al., 2013; Mansur-Alves & Flores-Mendoza, 2015; Redick et al., 2013; Rode, Robson, Purviance, Geary, & Mayr, 2014)还是异常(Alloway et al., 2013; Dunning et al., 2013; Phillips et al., 2016)个体都是如此。具体信息参考电子版附表 3。

在本研究元分析的结果中，同样显示工作记忆训练无法改善数学推理能力，Cohen's d = −0.06，这与前人的发现一致(Melby-Lervåg & Hulme, 2013)。这可能是因为很多研究的训练目标主要集中在语音回路和视空模板，而不是中央执行系统，而过去有元分析表明刷新能力与数学表现之间存在着较强的联系(Friso-van den Bos et al., 2013)，刷新训练能够改善一般推理能力(Au et al., 2015)。因此未来关于提升数学推理能力的研究应该更专注于利用中央执行系统的训练。

进一步分析调节变量的作用，发现多目标训练效果可能差于单一目标训练效果(见表 8，单一目标：Cohen's d = 0.07，多目标：Cohen's d = −0.24，p = 0.060)。这与已有研究结果不一致(Schwaighofer et al., 2015)，尽管对工作记忆多个系统进行训练，可以增加训练和迁移情境之间的相似性，但若是受训者无法对各种混合情境进行正确辨认，则可能会减弱它的作用，甚至损害训练的效果。研究还发现其它调节因素(如年龄段、被试类型等)均不影响训练的迁移效果，但也有一些研究却发现 10 岁以上的儿童能够在言语工作记忆上获益更多，但这一特点并没有体现在数学推理能力上，这可能是因为迁移到与工作记忆较为不一致的任务中，其难度更大，无法体现出年龄上的优势(Peijnenborgh et al., 2015)。Titz 和 Karbach (2014)则认为低能力个体在工作记忆训练中能获益更多，但我们的元分析并未验证这一

观点。另外，虽然研究中发现训练任务类型和控制组类型对训练效果没有影响，但是由于样本差异较大，需谨慎对待。最后，训练强度、训练频率和训练持续时间对干预效果的影响(见表 9)与已有研究的发现较为一致(Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Schwaighofer et al., 2015)，它们对于远迁移的作用较为有限。训练持续周数对数学推理能力也没有影响，这或许是因为对于数学推理能力的工作训练持续时间较为接近，变异性低，因此无法体现它的作用。

综上所述，工作记忆训练对数感可能具有改善作用，效应量为中等(Cohen's d = 0.51)，而在运算和数学推理能力中工作记忆训练则无积极作用。此外，训练目标会影响数学能力的改善效果。但值得注意的是，由于研究数量的有限，对这些

表 8　分类调节变量对数学推理能力作用的影响

变量	k	Cohen's d	I^2(%)	组间比较 (Q 检验)
年龄段				
年幼儿童	4	−0.05	55.52	0.461
儿童	4	−0.10	23.91	
成人	2	0.12	0	
被试类型				
正常	5	0.02	0	0.217
异常	5	−0.20	39.18	
训练目标类型				
单一目标	4	0.07	0	0.060
多目标	6	-0.24^*	29.26	
训练任务类型				
单一任务	3	0.05	0	0.177
多任务	7	−0.14	38.51	
控制组类型				
受训	4	−0.05	41.61	0.950
未受训	6	−0.04	25.95	

注：k 表示纳入研究个数。$^*p < 0.05$.

表 9　连续的调节变量对数学推理能力作用的影响

变量	B	SE	95%CI	Z	p
训练强度	< 0.001	< 0.001	−0.001, 0.001	−0.22	0.826
训练频率	< 0.001	0.070	−0.138, 0.138	0	0.997
每次训练时间	−0.006	0.008	−0.021, 0.010	−0.74	0.459
训练持续时间(周)	−0.040	0.052	−0.142, 0.062	−0.77	0.440

分析所得出的结论需谨慎看待，未来还需要更多的研究来探讨这些变量的作用。

尽管本研究发现工作记忆训练可能对数感具有改善作用，但是数感能力为什么得到提升的背后机制还不是非常清楚，值得深入探讨。另外，鉴于导致数学障碍的原因之一是数感能力的缺陷，因此是否能够通过工作记忆训练改善数感能力，从而对数学障碍有所缓解，这也是值得进一步探讨的方向。

本研究发现了训练任务所针对的目标会影响训练效果，但是依然存在很多问题需要进一步探讨，比如，训练方法的有效性，训练任务是否准确触及了所针对的工作记忆能力？不同目标的训练方式对于提高数学能力究竟存在哪些不同影响。由于过去的研究很多都采用多维度任务进行训练，因此我们很难判断究竟哪些训练更为有效，或者完全无关哪个训练任务，而是取决于不同训练任务叠加训练效应。这些问题同样需要今后大量的实证研究进行探讨。

参考文献

(*为纳入元分析文献)

陈英和, 耿柳娜. (2004). 工作记忆与算术认知的研究现状与前瞻. *北京师范大学学报(社会科学版)*, (1), 40–44.

陈英和, 王明怡. (2006). 工作记忆广度对儿童算术认知策略的影响. *心理发展与教育*, (2), 29–35.

黎翠红, 何旭, 郭春彦. (2014). 工作记忆训练的研究述评. *心理与行为研究*, *12*(3), 407–412.

刘春雷, 周仁来. (2012). 工作记忆训练对认知功能和大脑神经系统的影响. *心理科学进展*, *20*(7), 1003–1011.

王明怡, 陈英和. (2006). 工作记忆中央执行对儿童算术认知策略的影响. *心理发展与教育*, *22*(4), 24–28.

张明, 陈骐. (2006). 工作记忆子成分在听觉障碍儿童心算过程中的作用. *心理科学*, *29*(1), 76–79.

张清芳, 朱滢. (2000). 工作记忆和推理. *心理学动态*, *8*(1), 12–17.

赵鑫, 王一雪, 刘丹玮, 周仁来. (2011). 工作记忆刷新训练对儿童流体智力的影响. *科学通报*, *56*(17), 1345–1348.

*Alloway, T. (2012). Can interactive working memory training improve learning. *Journal of Interactive Learning Research*, *23*(3), 197–207.

Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2008). *Jungle memory training program*. Edinburgh, United Kingdom: Memosyne.

Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Kirkwood, H., & Elliott, J. (2008). Evaluating the validity of the Automated Working Memory Assessment. *Educational Psychology*, *28*(7), 725–734.

*Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior, 29*(3), 632–638.

*Ang, S. Y., Lee, K., Cheam, F., Poon, K., & Koh, J. (2015). Updating and working memory training: Immediate improvement, long-term maintenance, and generalisability to non-trained tasks. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 4*(2), 121–128.

Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review, 22*(2), 366–377.

Bachot, J., Gevers, W., Fias, W., & Roeyers, H. (2005). Number sense in children with visuospatial disabilities: Orientation of the mental number line. *Psychology Science, 47*, 172–183.

*Bergman-Nutley, S., & Klingberg, T. (2014). Effect of working memory training on working memory, arithmetic and following instructions. *Psychological Research, 78*(6), 869–877.

Borella, E., Carretti, B., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2007). Working memory, control of interference and everyday experience of thought interference: When age makes the difference. *Aging Clinical and Experimental Research, 19*(3), 200–206.

Borella, E., Carretti, B., & De Beni, R. (2008). Working memory and inhibition across the adult life-span. *Acta Psychologica, 128*(1), 33–44.

Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., & De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: Evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging, 25*(4), 767–778.

Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., & Rothstein, H. (2005). *Compreshensive meta-analysis* (Version 2) [Software]. Engelwood, NJ: Biostat.

Brainerd, C. J. (1983). Young children's mental arithmetic errors: A working-memory analysis. *Child Development, 54*(4), 812–830.

Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., & Palladino, P. (2004). What happens to information to be suppressed in working-memory tasks? Short and long term effects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 57*(6), 1059–1084.

Caviola, S., Mammarella, I. C., Cornoldi, C., & Lucangeli, D. (2012). The involvement of working memory in children's exact and approximate mental addition. *Journal of Experimental Child Psychology, 112*(2), 141–160.

*Cornoldi, C., Carretti, B., Drusi, S., & Tencati, C. (2015). Improving problem solving in primary school students: The effect of a training programme focusing on metacognition and working memory. *British Journal of Educational Psychology, 85*(3), 424–439.

Cragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education, 3*(2), 63–68.

*Dahlin, K. I. E. (2013). Working memory training and the effect on mathematical achievement in children with attention deficits and special needs. *Journal of Education and Learning, 2*(1), 118–133.

Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language, 16*(1), 16–36.

Demir, Ö. E., Prado, J., & Booth, J. R. (2014). The differential role of verbal and spatial working memory in the neural basis of arithmetic. *Developmental Neuropsychology, 39*(6), 440–458.

*Dunning, D. L., Holmes, J., & Gathercole, S. E. (2013). Does working memory training lead to generalized improvements in children with low working memory? A randomized controlled trial. *Developmental Science, 16*(6), 915–925.

*Fälth, L., Jaensson, L., & Johansson, K. (2015). Working memory training – A Cogmed intervation. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 14*(2), 28–35.

Friso-van den Bos, I., Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2014). Number sense in kindergarten children: Factor structure and working memory predictors. *Learning and Individual Differences, 33*, 23–29.

Friso-van den Bos, I., van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review, 10*, 29–44.

Geary, D. C. (2006). Development of mathematical understanding. In W. Damon, R. M. Lerner, D. Kuhn, & R. S. Sielger (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol 2. Cognition, perception, and language* (6th ed., pp.777–810). New York: Wiley.

Giofrè, D., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2013). The structure of working memory and how it relates to intelligence in children. *Intelligence, 41*(5), 396–406.

Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience, 6*(3), 316–322.

Harrison, T. L., Shipstead, Z., Hicks, K. L., Hambrick, D. Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2013). Working memory training may increase working memory capacity but not fluid intelligence. *Psychological Science, 24*(12), 2409–2419.

Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning

disability affect working memory performance? *Memory, 9*(4–6), 233–247.

Herrera, A., Macizo, P., & Semenza, C. (2008). The role of working memory in the association between number magnitude and space. *Acta Psychologica, 128*(2), 225–237.

Hitch, G. J., & McAuley, E. (1991). Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology, 82*(3), 375–386.

*Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science, 12*(4), F9–F15.

Hubber, P. J., Gilmore, C., & Cragg, L. (2014). The roles of the central executive and visuospatial storage in mental arithmetic: A comparison across strategies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(5), 936–954.

Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(19), 6829–6833.

Jaeggi, S. M., Buschkuehl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*(25), 10081–10086.

Jahanshahi, M., Saleem, T., Ho, A. K, Fuller, R., & Dirnberger, G. (2008). A preliminary investigation of the running digit span as a test of working memory. *Behavioural Neurology, 20*(1–2), 17–25.

Jordan, N. C., Kaplan, D., Ola´h, L. N., & Locuniak, M. N. (2006). Number sense growth in kindergarten: A longitudinal investigation of children at risk for mathematics difficulties. *Child Development, 77*(1), 153–175.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review, 9*(4), 637–671.

Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P., J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., … Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD: A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 44*(2), 177–186

Krichner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352–358.

*Kroesbergen, E. H., Van't Noordende, J. E., & Kolkman, M. E. (2012). Number sense in low-performing kindergarten children: Effects of a working memory and an early math training. In: Z. Breznitz, O. Rubinsten, V. Molfese, & D. Molfese (Eds.), *Reading, writing, mathematics and the developing brain: Listening to many voices* (pp. 295–313). Netherlands: Springer.

*Kroesbergen, E. H., Van't Noordende, J. E., & Kolkman, M. E. (2014). Training working memory in kindergarten children: Effects on working memory and early numeracy. *Child Neuropsychology, 20*(1), 23–37.

Kuhn, J.-T., & Holling, H. (2014). Number sense or working memory? The effect of two computer-based trainings on mathematical skills in elementary school. *Advances in Cognitive Psychology, 10*(2), 59–67.

Kyttälä, M., Aunio, P., Lehto, J. E., Van Luit, J., & Hautamäki, J. (2003). Visuospatial working memory and early numeracy. *Educational and Child Psychology, 20*(3), 65–76.

*Kyttälä, M., Kanerva, K., & Kroesbergen, E. (2015). Training counting skills and working memory in preschool. *Scandinavian Journal of Psychology, 56*(4), 363–370.

*Mansur-Alves, M., & Flores-Mendoza, C. (2015). Working memory training does not improve intelligence: Evidence from Brazilian children. *Psicologia: Reflexão e Crítica, 28*(3), 474–482.

Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology, 49*(2), 270–291.

Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., & Hulme, C. (2016). Working memory training does not improve performance on measures of intelligence or other measures of "far transfer": Evidence from a meta-analytic review. *Perspectives on Psychological Science, 11*(4), 512–534.

*Minear, M., Brasher, F., Guerrero, C. B., Brasher, M., Moore, A., & Sukeena, J. (2016). A simultaneous examination of two forms of working memory training: Evidence for near transfer only. *Memory & Cognition, 44*(7), 1014–1037.

Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(1), 46–60.

*Nelwan, M., & Kroesbergen, E. H. (2016). Limited near and far transfer effects of Jungle Memory working memory training on learning mathematics in children with attentional and mathematical difficulties. *Frontiers in Psychology, 7*, 1384.

Nunes, T., Bryant, P., Barros, R., & Sylva, K. (2012). The relative importance of two different mathematical abilities to mathematical achievement. *British Journal of Educational Psychology, 82*, 136–156.

*Partanen, P., Jansson, B., Lisspers, J., & Sundin, Ö. (2015).

Metacognitive strategy training adds to the effects of working memory training in children with special educational needs. *International Journal of Psychological Studies, 7*(3), 130–140.

*Passolunghi, M. C., & Costa, H. M. (2016). Working memory and early numeracy training in preschool children. *Child Neuropsychology, 22*(1), 81–98.

Peijnenborgh, J. C., Hurks, P. M., Aldenkamp, A. P., Vles, J. S.., & Hendriksen, J. G. M. (2016). Efficacy of working memory training in children and adolescents with learning disabilities: A review study and meta-analysis. *Neuropsychological Rehabilitation, 26*(5–6), 645–672.

Phillips, N. L., Mandalis, A., Benson, S., Parry, L., Epps, A., Morrow, A., & Lah, S. (2016). Computerized working memory training for children with moderate to severe traumatic brain injury: A double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Journal of Neurotrauma, 33*(23), 2097–2104.

Pollack, I., Johnson, L. B., & Knaff, P. R. (1959). Running memory span. *Jounal of Experimental Psychology, 57*(3), 137–146.

Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences, 20*(2), 110–122.

*Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., ... Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General, 142*(2), 359–379.

*Roberts, G., Quach, J., Spencer-Smith, M., Anderson, P. J., Gathercole, S., Gold, L., ... Wake, M. (2016). Academic outcomes 2 years after working memory training for children with low working memory: A randomized clinical trial. *JAMA Pediatrics, 170*(5), e154568.

*Rode, C., Robson, R., Purviance, A., Geary, D. C., & Mayr, U. (2014). Is working memory training effective? A study in a school setting. *PLoS One, 9*(8), e104796.

Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia, 47*(13), 2859–2865.

*Söderqvist, S., & Nutley, S. B. (2015). Working memory training is associated with long term attainments in math and reading. *Frontiers in Psychology, 6*, 1711.

Schwaighofer, M., Fischer, F., & Bühner, M. (2015). Does working memory training transfer? A meta-analysis including training conditions as moderators. *Educational Psychologist, 50*(2), 138–166.

Stevenson, C. E., Heiser, W. J., & Resing, W. C. M. (2013). Working memory as a moderator of training and transfer of analogical reasoning in children. *Contemporary Educational Psychology, 38*(3), 159–169.

Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: Effects of training on academic achievement. *Psychological Research, 78*, 852–868.

*van der Molen, M. J., van Luit, J. E., van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research, 54*(5), 433–447.

von Bastian, C. C., Langer, N., Jäncke, L., & Oberauer, K. (2013). Effects of working memory training in young and old adults. *Memory & Cognition, 41*(4), 611–624.

*Witt, M. (2011). School based working memory training: Preliminary finding of improvement in children's mathematical performance. *Advances in Cognitive Psychology, 7*, 7–15.

Wu, S. S., Meyer, M. L., Maeda, U., Salimpoor, V., Tomiyama, S., Geary, D. C., & Menon, V. (2008). Standardized assessment of strategy use and working memory in early mental arithmetic performance. *Developmental Neuropsychology, 33*(3), 365–393.

Enhancing mathematical abilities: A meta-analysis on the effect of working memory training

GUO Liyue; YAN Chao; DENG Ciping

(*School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*)

Abstract: Working memory training can effectively improve individual's cognitive performance. In last decades, accumulating studies examined the transfer effects of working memory training on the mathematical abilities. However, findings from these studies render inconsistent depending on the measure of mathematical abilities, types of working memory training, and participants. In this meta-analysis, we thus reviewed two types of trainings strategies–uni-dimensional and multi-dimensional trainings – and their effects on the enhancement of mathematical skills, including number sense, arithmetic and mathematics reasoning. Results showed that working memory training significantly improved number sense with a medium effect size (Cohen's d = 0.51), rather than arithmetic (Cohen's d = 0.04) and mathematics reasoning (Cohen's d = –0.06). Furthermore, the types of working memory training significantly moderated the transfer effects of working memory training on mathematical performance.

Key words: working memory training; mathematical ability; number sense; arithmetic; mathematical reasoning